Aulas 20: Refração luminosa e Reflexão total

Refração

Chama-se refração a mudança no meio de propagação da luz, acompanhada da variação na sua velocidade de propagação.

Densidade óptica ou índice de refração absoluta (n)

O índice de refração absoluto **n** de um meio, para determinada luz monocromática, é a razão entre a velocidade da luz no vácuo (**c**) e a velocidade da luz no meio material em questão (**v**):

$$n = \frac{c}{V}$$

Observações:

- O índice de refração (n) é uma grandeza adimensional (sem unidade).
- Para o vácuo, n = 1.
- Para o ar, adota-se $V \simeq c = 3 \cdot 10^8$ m/s, logo $n_{ar} \approx 1$.
- O valor de **n** indica quantas vezes a velocidade da luz no vácuo é maior que a velocidade da luz num meio qualquer.
- O valor de **n** não depende apenas do meio, mas da frequência da luz que se propaga. Quanto maior a frequência, maior será a refringência (valor do índice de refração).
- O índice de refração de um meio também depende da pressão, da temperatura e da densidade. O índice de refração aumenta com o crescimento da densidade.

ÍNDICE DE REFRAÇÃO RELATIVO

Define-se índice de refração relativo de um meio A, em relação a um meio B, como a relação:

$$n_{A,B} = \frac{n_A}{n_B} \Rightarrow n_{A,B} = \frac{\frac{c}{V_A}}{\frac{c}{V_B}} \Rightarrow$$

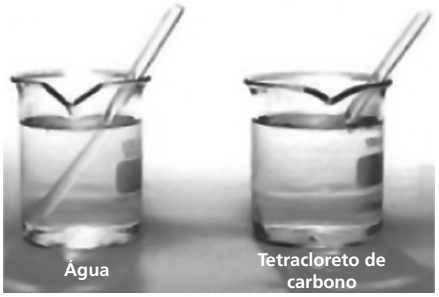
$$n_{A,B} = \frac{\cancel{c}}{V_A} \cdot \frac{V_B}{\cancel{c}} \Rightarrow \boxed{n_{A,B} = \frac{V_B}{V_A}}$$

Observe que se:

$$n_A > n_B \Rightarrow V_A < V_B$$

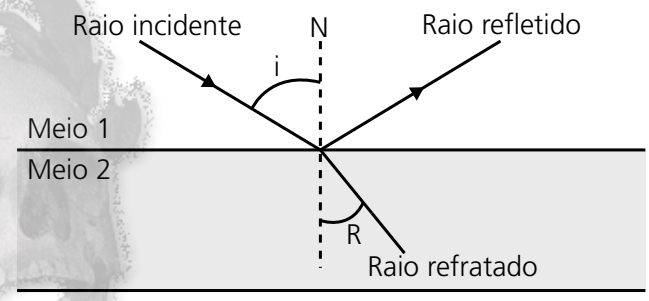
Observação:

Quando dois meios apresentam a mesma refringência, ou seja, o mesmo índice de refração, um é invisível em relação ao outro. Dizemos que entre esses dois meios existe continuidade óptica.



Leis da Refração

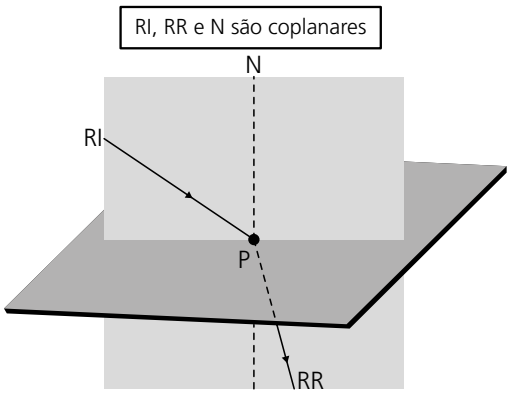
Um raio de luz, proveniente do meio 1, incide na superfície de separação dos meios, 1 e 2 e sofre refração.



Sejam:

- **i**; o ângulo de incidência;
- **R**; o ângulo de refração;
- n_1 e n_2 são, respectivamente, os índices de refração absolutos para os meios 1 e 2, para uma determinada luz monocromática;
- N; a normal à superfície, no ponto de incidência da luz.

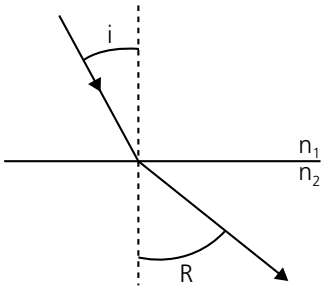
1ª Lei da refração



O raio incidente, o raio refratado e a reta normal estão no mesmo plano.

2ª Lei da refração: "Lei de Snell – Descartes"

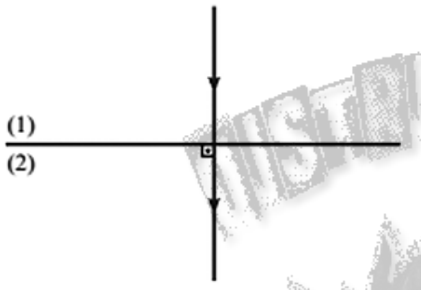
$$n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } R$$



Para cada par de meios e cada luz monocromática que se refrata é constante o produto do seno do ângulo que o raio forma com a normal e o índice de refração do meio em que o raio se encontra.

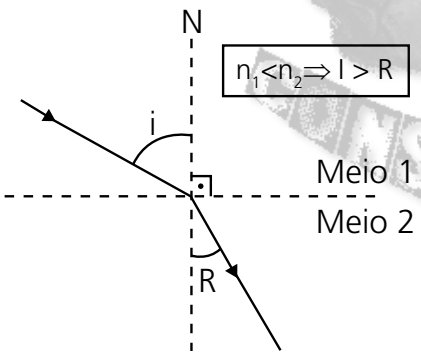
Observações:

- Se ocorrer incidência normal (i = 0°) não haverá desvio, independentemente da refrigência dos meios.

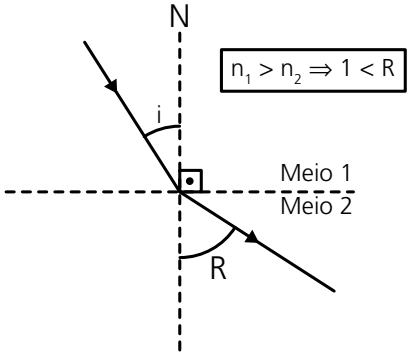


$n_A \neq n_2 \rightarrow \text{Se } i = 0° \rightarrow R = 0°$

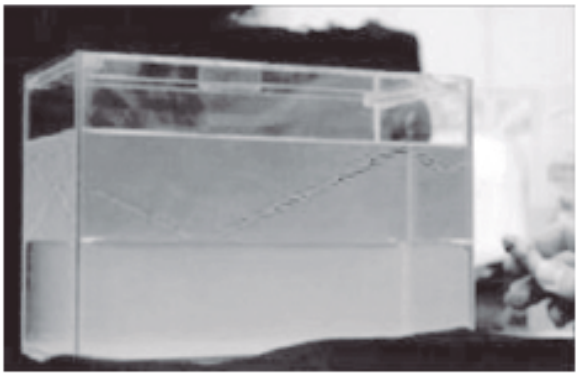
- Se o meio 2 é mais refringente que o meio 1, o raio de luz refratado se aproxima da normal.



- Se o meio 2 é menos refringente que o meio 1, se ocorrer a refração, o raio de luz refratado se afasta da normal.



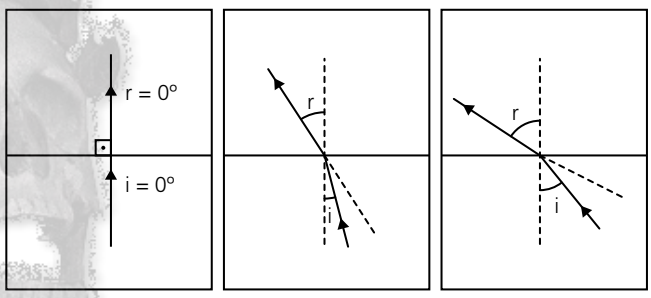
ÂNGULO LIMITE E REFLEXÃO TOTAL

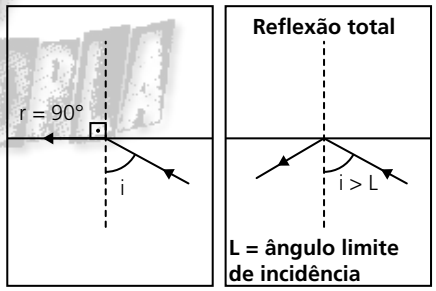


Considere um raio luminoso monocromático propagando-se de um meio mais refringente (A) para um meio menos refringente (B). Sabemos que se a incidência for oblíqua o respectivo raio refratado deverá se afastar da normal em relação à direção do raio incidente.

Quando aumentamos gradativamente o valor do ângulo de incidência, chegaremos a um valor em que a refração será rasante (r = 90°). Nesse caso, o ângulo de incidência assumiu o valor máximo possível para que houvesse refração. Chamaremos, então, nessas condições o ângulo de incidência de ângulo limite.

Se aumentarmos mais ainda o valor do ângulo de incidência, a luz sofrerá reflexão total (ou interna).





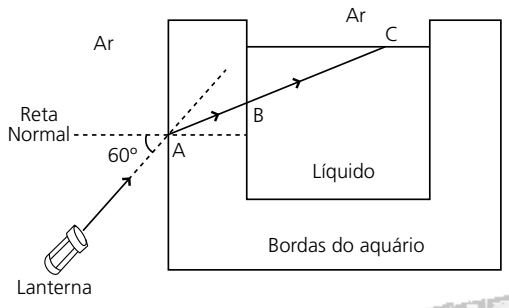
Sendo $\text{sen } L = \frac{n_{menor}}{n_{maior}}$

Para que ocorra reflexão total à luz:

- deve estar propagando do meio mais refringente para o meio menos refringente.
- deve incidir com um ângulo maior que ângulo limite.

Exercícios de Fixação

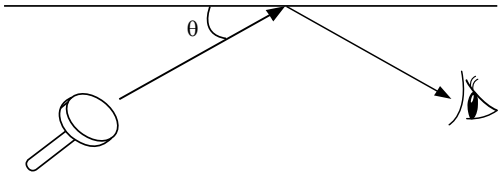
01. O aquário da figura a seguir apresenta bordas bem espessas de um material cujo índice de refração é igual a $\sqrt{3}$. Um observador curioso aponta uma lanterna de forma que seu feixe de luz forme um ângulo de incidência de 60°, atravessando a borda do aquário e percorrendo a trajetória AB. Em seguida, o feixe de luz passa para a região que contém o líquido, sem sofrer desvio, seguindo a trajetória BC. Considere o índice de refração do ar igual a 1,0. O feixe de luz emergirá do líquido para o ar no ponto C?



A) Sim, e o seno do ângulo refratado será $\frac{\sqrt{3}}{3}$.
B) Sim, e o seno do ângulo refratado será $\frac{3}{2}$.
C) Não, e o seno do ângulo limite será $\frac{\sqrt{3}}{2}$.
D) Não, pois o sono do ângulo refratado é menor que o seno do ângulo limite.
E) Não, pois o seno do ângulo refratado é maior que o seno do ângulo limite.

02. (Efomm) Uma pequena lâmpada está colocada no fundo de uma piscina cheia de um determinado líquido com profundidade igual a 2 m. Apesar de a lâmpada emitir luz em todas as direções, um observador situado fora da piscina verifica que a superfície do líquido não está toda iluminada, mas apenas uma região circular. Sabe-se que o índice de refração desse líquido é igual a 2. O raio da região circular iluminada da superfície da piscina é então
A) 0,75 m
B) 1,0 m
C) 1,03 m
D) 1,13 m
E) 1,15 m

03. (Efomm) Um mergulhador utiliza uma lanterna, apontando o feixe luminoso de dentro d'agua para a superfície. Outro mergulhador observa o feixe luminoso refletido como na figura.



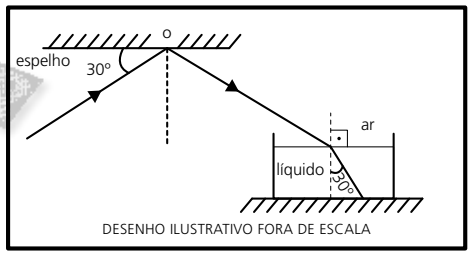
Dados: refração da água 1,33 e do ar 1,00.

sen 41°	sen 45°	sen 49°	sen 53°	sen 57°
0,656	0,707	0,755	0,799	0,839

Pode-se afirmar, então, que o valor aproximado do ângulo limite θ, definido entre o feixe e a superfície, para reflexão do feixe, é dado por
A) 41°.
B) 45°.
C) 49°.
D) 53°.
E) 57°.

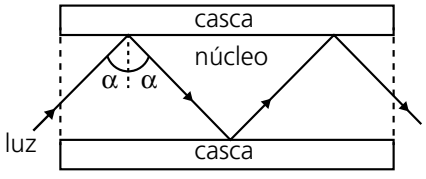
04. (EsPCEx) Um raio de luz monocromática propagando-se no ar incide no ponto O, na superfície de um espelho, plano e horizontal, formando um ângulo de 30° com sua superfície. Após ser refletido no ponto O desse espelho, o raio incide na superfície plana e horizontal de um líquido e sofre refração. O raio refratado forma um ângulo de 30° com a reta normal à superfície do líquido, conforme o desenho a seguir. Sabendo que o índice de refração do ar é 1, o índice de refração do líquido é

Dados: sen 30° = 1/2 e cos 60° = 1/2; sen 60° = $\frac{\sqrt{3}}{2}$ e cos 30" = $\frac{\sqrt{3}}{2}$



A) $\frac{\sqrt{3}}{3}$
B) $\frac{\sqrt{3}}{2}$
C) $\sqrt{3}$
D) $\frac{2\sqrt{3}}{3}$
E) $2\sqrt{3}$

05. (EsPCEx) Uma fibra óptica é um filamento flexível, transparente e cilíndrico, que possui uma estrutura simples composta por um núcleo de vidro, por onde a luz se propaga, e uma casca de vidro, ambos com índices de refração diferentes. Um feixe de luz monocromático, que se propaga no interior do núcleo, sofre reflexão total na superfície de separação entre o núcleo e a casa segundo um ângulo de incidência α, conforme representado no desenho a seguir (corte longitudinal da fibra). Com relação à reflexão total mencionada anteriormente, são feitas as afirmativas a seguir.
I. O feixe luminoso propaga-se do meio menos refringente para o meio mais refringente;
II. Para que ela ocorra, o ângulo de incidência α deve ser inferior ao ângulo limite da superfície de separação entre o núcleo e a casca;
III. O ângulo limite da superfície de separação entre o núcleo e a casca depende do índice de refração do núcleo e da casca;
IV. O feixe luminoso não sofre refração na superfície de separação entre o núcleo e a casca.

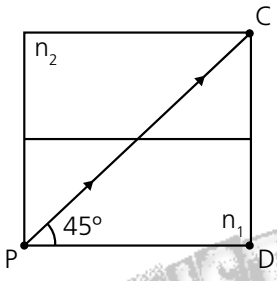


desenho ilustrativo-fora de escala
(corte longitudinal da fibra)

Dentre as afirmativas a seguir, as únicas corretas são:
A) I e II
B) III e IV
C) II e III
D) I e IV
E) I e III

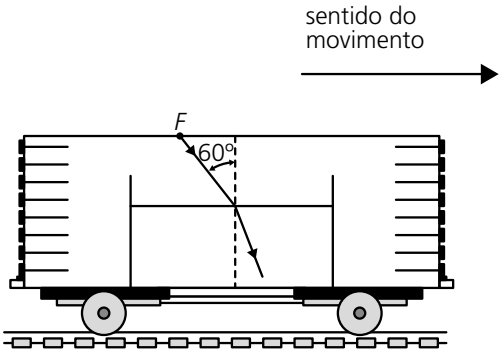
Exercícios Propostos

01. (AFA) A figura a seguir mostra uma face de um arranjo cúbico, montado com duas partes geometricamente iguais. Aparte1 é totalmente preenchida com um líquido de índice de refração n_1 e a parte 2 é um bloco maciço de um material transparente com índice de refração n_2.



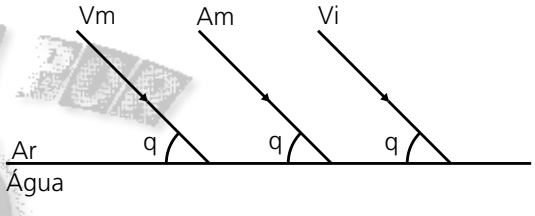
Neste arranjo, um raio de luz monocromático, saindo do ponto P, chega ao ponto C sem sofrer desvio de sua direção inicial. Retirando o líquido n_1 e preenchendo-se completamente a parte 1 com um outro líquido de índice de refração n_3, tem-se que o mesmo raio, saindo do ponto P, chega integralmente ao ponto D.
Considere que todos os meios sejam homogêneos, transparentes e isotrópicos, e que a interface entre eles forme um dióptro perfeitamente plano.
Nessas condições, é correto afirmar que o índice de refração n_3 pode ser igual a
A) 1,5 n_1
B) 1,3 n_1
C) 1,2 n_1
D) 1,1 n_1

02. Considere um recipiente fixo contendo um líquido em repouso no interior de um vagão em movimento retilíneo e uniforme que se desloca para a direita. A superfície de separação entre o líquido e o ar contido no vagão forma um dióptro perfeitamente plano que é atravessado pro um raio luminoso monocromático emitido por uma fonte F, fixa no teto do vagão como mostra a figura a seguir. Nessa condição, o ângulo de incidência do raio luminoso é $\theta_1 = 60°$.



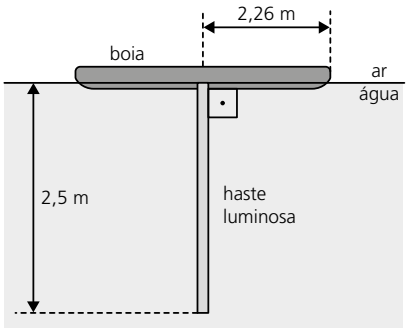
Em determinado momento, o vagão é acelerado horizontalmente para a esquerda com aceleração constante de módulo $a = \frac{\sqrt{3}}{3}\,g$ e, nessa nova situação, o ângulo de incidência do raio, neste dióptro plano, passa a ser θ_2. Considerando que a aceleração gravitacional no local é constante e possui módulo igual a **g**, a razão entre os senos dos ângulos de refração dos raios refratados na primeira e na segunda situações, respectivamente, é
A) $\frac{1}{2}$
B) 1
C) $\sqrt{2}$
D) $\sqrt{3}$

03. Três raios de luz monocromáticos correspondendo às cores vermelho (Vm), amarelo (Am) e violeta (Vi) do espectro eletromagnético visível incidem na superfície de separação, perfeitamente plana, entre o ar e a água, fazendo o mesmo ângulo θ com essa superfície, como mostra a figura a seguir.



Sabe-se que α, β e γ são, respectivamente, os ângulos de refração, dos raios vermelho, amarelo e violeta, em relação à normal no ponto de incidência. A opção que melhor representa a relação entre esses ângulos é
A) $\alpha > \beta > \gamma$
B) $\alpha > \gamma > \beta$
C) $\gamma > \beta > \alpha$
D) $\beta > \alpha > \gamma$

04. Uma haste luminosa de 2,5 m de comprimento está presa verticalmente a uma boia opaca circular de 2,26 m de raio, que flutua nas águas paradas e transparentes de uma piscina, como mostra a figura. Devido à presença da boia e ao fenômeno da reflexão total da luz, apenas uma parte da haste pode ser vista por observadores que estejam fora da água.

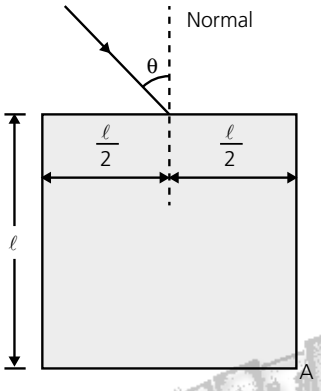


fora de escala

Considere que o índice de refração do ar seja 1,0, o da água da piscina $\frac{4}{3}$, sen 48,6° = 0,75 e tg 48,6° = 1,13.

Um observador que esteja fora da água poderá ver, no máximo, uma porcentagem do comprimento da haste igual a
A) 70%.
B) 60%.
C) 50%.
D) 20%.
E) 40%.

05. Um raio de luz no ar incide em um bloco retangular de vidro polido, cujo índice de refração em relação ao ar é $\frac{\sqrt{5}}{2}$, conforme o esquema.

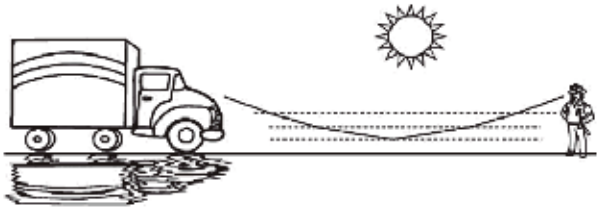


Para que o raio de luz refratado atinja a aresta A indicada, o seno do ângulo de incidência θ deve ser:
A) $\frac{1}{5}$.
B) $\frac{1}{3}$.
C) $\frac{1}{2}$.
D) $\frac{2}{3}$.
E) $\frac{3}{5}$.

06. O fenômeno da miragem, comum em desertos, ocorre em locais onde a temperatura do solo é alta.

Raios luminosos chegam aos olhos de um observador por dois caminhos distintos, um dos quais parece proveniente de uma imagem especular do objeto observado, como se esse estivesse ao lado de um espelho d'água (semelhante ao da superfície de um lago).

Um modelo simplificado para a explicação desse fenômeno é mostrado na figura a seguir.



O raio que parece provir da imagem especular sofre refrações sucessivas em diferentes camadas de ar próximas ao solo.

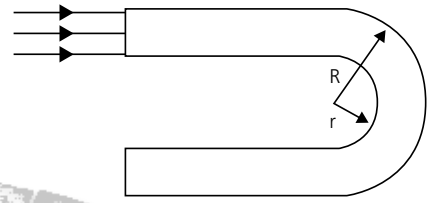
Esse modelo reflete um raciocínio que envolve a temperatura, densidade e índice de refração de cada uma das camadas.

O texto a seguir, preenchidas suas lacunas, expõe esse raciocínio.

"A temperatura do ar _____ com a altura da camada, provocando _____ da densidade e _____ do índice de refração; por isso, as refrações sucessivas do raio descendente fazem o ângulo de refração _____ até que o raio sofra reflexão total, acontecendo o inverso em sua trajetória ascendente até o olho do observador".

Assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas.
A) aumenta – diminuição – aumento – diminuir
B) aumenta – diminuição – diminuição – diminuir
C) diminui – aumento – aumento – aumentar
D) diminui – aumento – diminuição – aumentar
E) não varia – diminuição – diminuição – aumentar

07. Uma barra curvada de material desconhecido tem índice de refração **n** como mostra a figura a seguir.

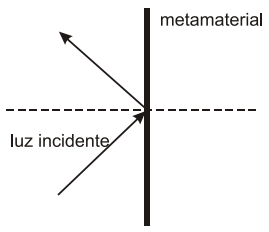


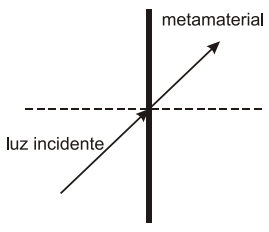
Se raios de luz incidem perpendicularmente na face superior, para que valores do índice de refração do material toda luz incidente sai pela face inferior? **Dado:** 2R = 3r.
A) n > 1,1
D) n > 1,4
B) n > 1,2
E) n > 1,5
C) n > 1,3

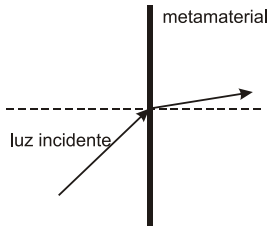
08. Um grupo de cientistas liderado por pesquisadores do Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), nos Estados Unidos, construiu o primeiro metamaterial que apresenta valor negativo do índice de refração relativo para a luz visível. Denomina-se metamaterial um material óptico artificial, tridimensional, formado por pequenas estruturas menores do que o comprimento de onda da luz, o que lhe dá propriedades e comportamentos que não são encontrados em materiais naturais. Esse material tem sido chamado de "canhoto".

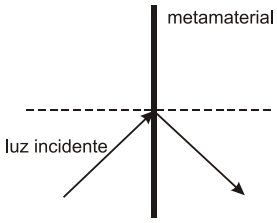
Disponível em: <http://inovacaotecnologica.com.br>. Acesso em: 28 abr. 2010. Adaptado.

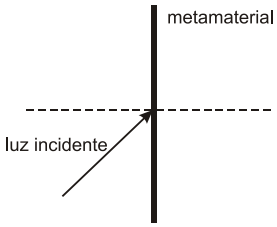
Considerando o comportamento atípico desse metamaterial, qual é a figura que representa a refração da luz ao passar do ar para esse meio?

A)


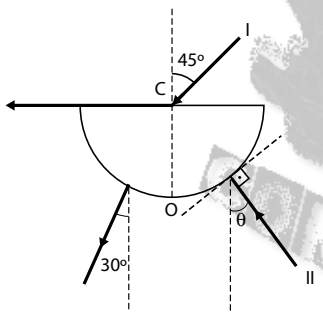
B)


C)


D)


E)


09. Um raio de luz I, no plano da folha, incide no ponto C do eixo de um semicilindro de plástico transparente, segundo um ângulo de 45° com a normal OC à face plana. O raio emerge pela superfície cilíndrica segundo um ângulo de 30° com a direção de OC. Um raio II incide perpendicularmente à superfície cilíndrica formando um ângulo θ com a direção OC e emerge com direção praticamente paralela à face plana.



Podemos concluir que
A) θ = 0°.
B) θ = 30°.
C) θ = 45°.
D) θ = 60°.
E) a situação proposta no enunciado não pode ocorrer.

10. Um pássaro sobrevoa em linha reta e a baixa altitude uma piscina em cujo fundo se encontra uma pedra. Podemos afirmar que
A) com a piscina cheia, o pássaro poderá ver a pedra durante um intervalo de tempo maior do que se a piscina estivesse vazia.
B) com a piscina cheia ou vazia, o pássaro poderá ver a pedra durante o mesmo intervalo de tempo.
C) o pássaro somente poderá ver a pedra enquanto estiver voando sobre a superfície da água.
D) o pássaro, ao passar sobre a piscina, verá a pedra em uma posição mais profunda do que aquela em que ela realmente se encontra.
E) o pássaro nunca poderá ver a pedra.

Exercícios de Fixação				
1	**2**	**3**	**4**	**5**
E	E	A	C	B

Exercícios Propostos				
1	**2**	**3**	**4**	**5**
A	A	A	D	C
6	**7**	**8**	**9**	**10**
C	E	D	C	A

DISTRIBUÍDO POR CONSTANTINOPLA

DIGITADOR: ANÍBAL – REVISOR: Alexandre
046.403-1001/22